

ИСТОЧНИКИ И ПРИЕМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 621.384.6

И.Д. Костыря, В.Ф. Тарасенко

**Азотный лазер с частотой повторения импульсов 1 кГц,  
накачиваемый продольным разрядом от генератора  
с индуктивным накопителем энергии и SOS-диодом**

Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 31.07.2006 г.

Создан азотный УФ-лазер с частотой следования импульсов 1 кГц, накачиваемый продольным разрядом от генератора с индуктивным накопителем энергии и SOS-диодом. Для увеличения средней мощности излучения при высоких частотах следования импульсов разряд возбуждался между двумя керамическими трубками, что давало выходной пучок в виде кольца. При частоте следования импульсов 1 кГц получена средняя мощность излучения ~25 мВт.

Для увеличения частоты следования импульсов в лазерах на самоограниченных переходах с продольным разрядом используют трубки малого диаметра из определенного материала или трубки специальной конструкции, в которых уменьшают расстояние от центральной части разряда до боковых стенок [1–4]. За счет этого улучшается охлаждение разрядной области, а также увеличивается скорость рекомбинации ионов и дезактивации возбужденных частиц на стенках лазерной трубки. В работе [2] при кольцевой и прямоугольной геометрии выходного пучка были увеличены энергия в импульсе и средняя мощность излучения УФ-лазера на молекулярном азоте (вторая положительная система, электронные полосы  $C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$ , переход 0–0,  $\lambda = 337,1$  нм). Увеличение энергии излучения в импульсе достигалось за счет увеличения активного объема, а увеличение средней мощности излучения за счет сохранения сравнительно малого расстояния от центральной части разряда до боковых стенок лазерной камеры. Частота следования импульсов, при которой достигается максимальная средняя мощность излучения в работе [4], составила 200 Гц.

В последнее время для возбуждения азотного лазера с продольным разрядом стали применять генераторы с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока [5–9]. Однако частота следования созданных азотных лазеров из-за применения трубок сравнительно большого диаметра не превышала 100 Гц [5–9], тогда как индуктивные накопители энергии, созданные на базе SOS-диодов [10], могут работать в лазерных режимах при частотах следования импульсов более 10 кГц [11, 12].

Цель данной работы – создать азотный УФ-лазер с частотой следования импульсов до 1 кГц, при возбуждении продольным разрядом от генератора с индуктивным накопителем энергии и SOS-диодом.

Для возбуждения лазера была использована схема, подобная описанной в [9]. Установка состояла

из импульсного генератора и лазерной трубки. Накачка осуществлялась от индуктивного накопителя энергии с SOS-диодом. Электрическая схема накачки SOS-диодов – стандартная (рис. 1).

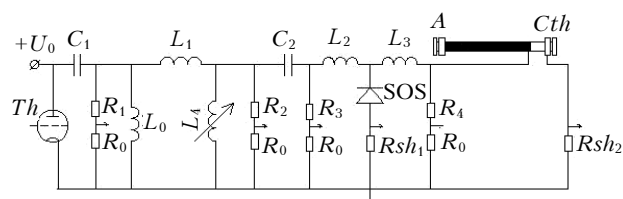


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема генератора накачки азотного лазера с индуктивным накопителем энергии на базе полупроводникового прерывателя тока:  $+U_0$  – зарядное напряжение положительной полярности;  $Th$  – тиристор;  $C_1$  – первичный емкостной накопитель энергии;  $C_2$  – вторичный накопитель энергии;  $L_0$  – зарядная индуктивность;  $L_1$  – линейная индуктивность;  $L_2$  – индуктивный накопитель энергии;  $L_3$  – индуктивность подводов к лазерной камере;  $L_4$  – магнитный дроссель; SOS – SOS-диод;  $R_0$ – $R_4$ ,  $Rsh$  – омические делители напряжения и шунт;  $A$  и  $Cth$  – анод и катод лазерной камеры

По сравнению с [9] были уменьшены емкости конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ , а разрядник заменен на магнитный ключ. Первичный контур накачки SOS-диода включался тиристором ТГИ 1000/25. Запуск второго контура осуществлялся срабатыванием одновиткового магнитного дросселя насыщения  $L_4$ , собранного из шестидесяти ферритовых колец марки М2000 НМ1 с внешним диаметром 28 мм, внутренним 16 мм и толщиной кольца 9 мм. Ферритовые кольца были надеты на медную трубку соответствующего диаметра. Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  были собраны из последовательно-параллельно соединенных керамических конденсаторов КВИ-3 (10 кВ, 3300 пФ).  $C_1 = C_2 = 2,2$  нФ с полупериодом разряда примерно 200 нс. В качестве прерывателя тока SOS использовался специальный кремниевый SOS-диод [10] с максимальным

обратным напряжением 120 кВ и максимальной амплитудой обрываемого тока 4,0 кА.

Конструкция лазерной камеры показана на рис. 2.

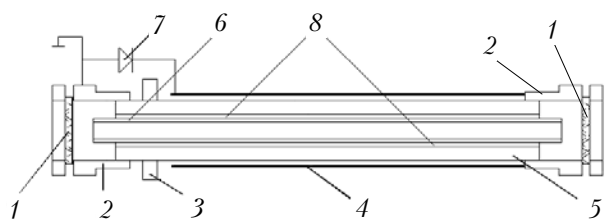


Рис. 2. Принципиальная схема расположения элементов лазерной камеры в осевом сечении: 1 – зеркала; 2 – латунные электроды и юстировочные узлы одновременно; 3 – изолятор из тефлона; 4 – обратный токопровод; 5 – внешняя керамическая трубка лазерной камеры; 6 – внутренняя керамическая трубка; 7 – SOS-диод; 8 – разрядный промежуток между керамическими трубками

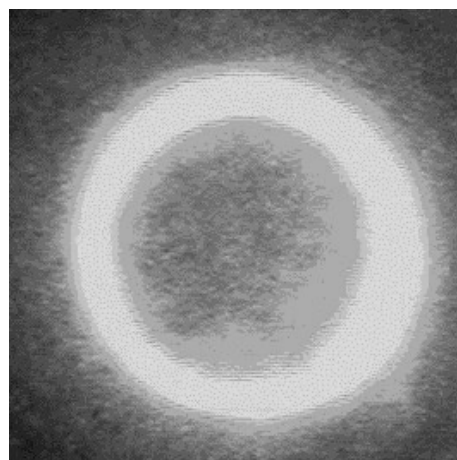
Разряд зажигался между двумя керамическими трубками 5, 6. Внешняя керамическая трубка 5 имела длину 280 мм и внутренний диаметр 9 мм. Внутри этой трубки устанавливалась вторая керамическая трубка 6 длиной 300 мм и внешним диаметром 8 мм, которая внутри была заполнена эпоксидной смолой. Исследования проводились при двух положениях внутренней трубки относительно внешней. В первом случае центральные оси обеих трубок совпадали, это давало одинаковый зазор между трубками, равный 0,5 мм. Автограф лазерного излучения на люминесцентном экране показан на рис. 3, а. Во втором случае внутренняя трубка 6 касалась внутренней поверхности внешней трубки 5, что давало автограф лазерного излучения в виде серпа (рис. 3, б).

Резонатор был образован плоским зеркалом с Al напылением и плоскопараллельной кварцевой пластинкой. Энергия и средняя мощность излучения измерялись калориметром ИМО-2Н, форма импульса излучения регистрировалась фотодиодом ФЭК-22. Осциллограммы напряжения и тока регистрировались с помощью омических делителей напряжения и токовых шунтов или поясов Роговского. Электрические сигналы записывались скоростным цифровым осциллографом TDS3032.

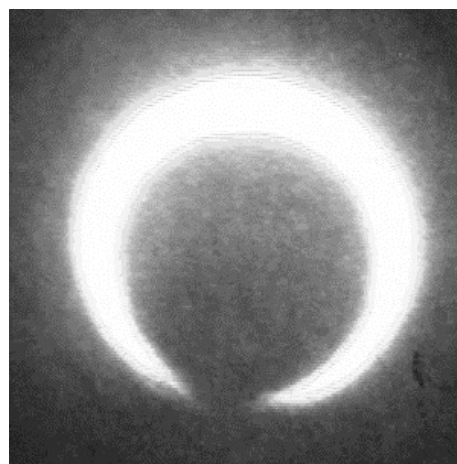
Частота следования импульсов могла изменяться от единиц герц до 1 кГц. При повышенных частотах лазерная камера и электроды перегревались, поэтому лазерная камера охлаждалась потоком воздуха, а азот прокачивался через разрядную область. Время работы лазера без перегрева зависело от частоты следования импульсов и при 1 кГц составляло около 5 мин.

На созданном лазере были проведены исследования средней мощности излучения в зависимости от давления и частоты следования импульсов. Такая зависимость для кольцевого выходного пучка показана на рис. 4. Оптимальное давление составило ~13 торр. Максимальная средняя мощность генерации (31 мВт) была получена при частоте 0,6 кГц. При дальнейшем увеличении частоты следования импульсов начинал влиять нагрев внутренней керамической трубки. Это приводило к уменьшению

средней мощности генерации. Данная проблема может быть решена при охлаждении внутренней трубки водой, однако это приведет к усложнению конструкции лазера.



а



б

Рис. 3. Фотографии экрана, люминесцирующего под действием лазерного излучения. Внешний диаметр автографа пучка ~10 мм

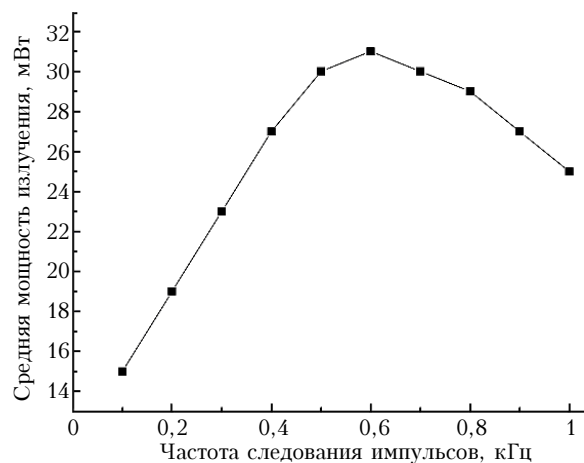


Рис. 4. Зависимость средней мощности излучения азотного лазера от частоты следования импульсов при давлении азота 13 торр

Установка внутренней трубки на поверхности внешней (автограф выходного пучка показан на рис. 3, б) приводила к уменьшению оптимального давления азота (до ~9 торр) и частоты повторения импульсов при максимальной средней мощности излучения до ~0,4 кГц. Максимальная средняя мощность генерации также уменьшалась (примерно в 2 раза). Уменьшение средней мощности генерации связано с ухудшением охлаждения разрядной области и однородности возбуждения по поперечному сечению лазерной камеры.

Таким образом, в данной работе сообщается о создании азотного УФ-лазера с накачкой продольным разрядом от генератора с индуктивным накопителем энергии и SOS-диодом. Получена стабильная генерация при частоте следования импульсов 1 кГц с выходным пучком в виде кольца. Для увеличения средней мощности излучения при высоких частотах следования импульсов разряд возбуждался между двумя керамическими трубками. Максимальная средняя мощность излучения 31 мВт была получена при частоте следования импульсов 0,6 кГц и выходном пучке в виде кольца.

Авторы благодарят В.А. Визиря за настройку источника питания генератора накачки для работы при повышенных частотах следования импульсов.

Данная работа поддержана МНТЦ, проект № 2596 «Импульсные газоразрядные лазеры с накачкой от индуктивного накопителя энергии с полупроводниковым прерывателем тока».

1. Свиридов А.Н., Тропихин Ю.Д. Кинетика генерации N<sub>2</sub>-лазера в импульсно-периодическом режиме II. Эксперимент // Квант. электрон. 1978. Т. 5. № 10. С. 2085–2097.
2. Бычков Ю.И., Костин М.Н., Лосев В.Ф., Тарасенко В.Ф. N<sub>2</sub>-лазер высокой средней мощности с продольным разрядом // Приборы и техн. эксперим. 1978. № 4. С. 228–229.

3. Кухлевский С.В., Патрин В.В., Проворов А.С., Салмин В.В. Волноводный N<sub>2</sub>-лазер // Квант. электрон. 1991. Т. 18. № 7. С. 791–794.
4. Жданев О.В., Евтушенко Г.С. Теоретический анализ влияния радиальных вставок на генерационные характеристики лазера на парах меди // Оптика атмосфер. и океана. 2003. Т. 16. № 7. С. 216–223.
5. Ломаев М.И., Тарасенко В.Ф. N<sub>2</sub>-лазер с накачкой от генератора с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока // Квант. электрон. 1995. Т. 22. № 5. С. 441–442.
6. Baksh E.H., Panchenko A.N., Tarasenko V.F. Discharge Lasers Pumped by Generators with Inductive Energy Storage // IEEE J. Quantum Electron. 1999. V. 35. N 3. P. 261–266.
7. Бакут Е.Х., Визирь В.А., Куц С.Э., Орловский В.М., Панченко А.Н., Рукин С.Н., Тарасенко В.Ф. Накачка импульсных лазеров с продольным разрядом от генератора с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13. № 3. С. 243–249.
8. Алексеев С.Б., Бакут Е.Х., Костыря И.Д., Орловский В.М., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. УФ-лазеры на смесях N<sub>2</sub>-SF<sub>6</sub> и N<sub>2</sub>-NF<sub>3</sub> с накачкой поперечным и продольным разрядом // Квант. электрон. 2004. Т. 34. № 11. С. 1033–1039.
9. Костыря И.Д., Тарасенко В.Ф. Стабилизация разряда в азотном УФ-лазере с накачкой продольным разрядом // Оптика атмосфер. и океана. 2006. Т. 19. № 2–3. С. 158–162.
10. Рукин С.Н. Генераторы мощных наносекундных импульсов с полупроводниковыми прерывателями тока // Приборы и техн. эксперим. 1999. № 4. С. 5–36.
11. Костыря И.Д., Тарасенко В.Ф. О возможности применения генератора с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока для накачки лазеров на парах металлов // Оптика атмосфер. и океана. 2001. Т. 14. № 8. С. 722–724.
12. Костыря И.Д., Евтушенко Г.С., Тарасенко В.Ф., Шиянов Д.В. Лазер на парах меди с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока // Квант. электрон. 2001. Т. 31. № 10. С. 864–866.

***I.D. Kostyrya, V.F. Tarasenko. Nitrogen laser with a pulse repetition frequency of 1 kHz pumped by a longitudinal discharge from the generator with inductive energy storage and SOS diode.***

A nitrogen UF laser with a pulse repetition frequency of 1 kHz pumped by a longitudinal discharge from the generator with inductive energy storage and SOS diode is built. To increase the mean radiation power at high repetition frequencies, the discharge was excited between two ceramic tubes, which formed the output beam of a ring shape. At a pulse repetition frequency of 1 kHz, a mean radiation power of about 25 mW was obtained.